

特定地域의 大氣汚染 擴散모델開發에 關한 研究

A Study on the Development of Air Pollution Dispersion Model for Personal Computer

宋 琪 裕* 任 興 宰* 尹 明 照*

Ki-You Song, Hung-Jae Im, Myong-Cho Yoon

Abstract

This study was performed to develop a long-term air pollution dispersion model based on CDM program for use in the personal computer.

The model CDM-PC, developed for use of this study, simplified the plum equation of point pollution source in a windy state and windless state.

We used the classified 8 class stability, 16 wind direction and 4 class wind speed for the computer input climatological data. The plum rise equation is applied for CONCAWE's equation above 2,000 Kcal/sec of the exhaust calorie and Moses-Carson's equation below 2,000Kcal/sec at windy state, and Brigg's equation at calm.

The time required is 200 minutes for drawing the air pollution contour for treating ten stacks under the above-stated conditions. It is the weakness of using personal computer that the operation time is longer than a large-size computer. But it strength is that the personal computer is used widely.

To compare the treatment results of CDM-PC with TCM, we confirmed that the shape of SO₂ pollution contour is similar but the concentration distribution is quite different because of characteristics of each models.

Estimated and measured SO₂ concentration were similar, namely, Cest/Cob ratio of CDM-PC and TCM were respectively 0.96 ±0.25 (mean±S.D) and 1.08±0.26.

1. 緒 論

특정지역의 大氣汚染程度는 그 지역에서 배출되는 大氣汚染物質과 氣象與件에 따라 결정된다 함은 이미 잘 알려진 사실이다. 따라서 地域開發에 따른 汚染度 豫測은 국토개발과 未來志向의인

對策樹立을 計劃 作成키 위하여 必要한 技法이다.

그러나 시시각각으로 變하는 氣候要素, 氣候因子 및 大氣汚染 排出量으로 地域汚染度를 豫測한다는 것은 그리 쉬운 일이 아니다. 따라서 배출된 大氣汚染物質이 大氣中에서 이동되는 擴散豫測評價 (dispersion simulation) 技法은 風洞實

* (社)現代環境管理所 : Korea Environmental Research Institute.

驗을 통한 豫測技法과 電算模型化(modeling)技法 등이 있으며 각각 目的에 따라 달리 적용되고 있다.

電算模型化技法은 Gaussian 擴散式을 기초로 大氣汚染度를 豫測하고 있다. Wanta¹⁾, Moses²⁾는 일찌기 모델을 통한 오염도 예측의 가능성을 綜說을 통해 밝힌 바 있으며 실제로 大氣汚染擴散모델은 原子力發電所設置를 위한 大氣質影響分析에 처음 적용되었다.³⁾ 특히 1970年美聯邦空氣淸淨法(Federal Clean Air Amendments)⁴⁾과 그의 聯邦法(National Policy Act)⁵⁾등의 수정, 가결, 그리고 1977年 FCAA의 擴散 모델의 活用을 法으로 적용함에 따라 이 分野의 研究를 活潑하게 하였다.

이러한 연구들이 기초가 되어 1920年 Turner⁶⁾는 Briggs식과 Pasquill-Gifford 擴散式을 理論的 根據로 하여 1977년에 점오염원에 의한 지역오염을 예측하는 PTMAX, PTDIS, PTMTP 등의 모델을 개발하기에 이르렀다.⁷⁾ 그 후 모델개발이 많이 이루어져서 1980年 미국 환경보호처 告示로서 法으로 정한 31개의 대기 오염확산모델을 電算機에 수록하여 UNAMAP(users network for applied modeling air pollution)이라는 제도를 운영하기에 이르렀다.

우리나라에서도 大氣汚染度 豫測의 必要性을 느껴 1972年 尹 등은 실측오염도(분진, SO₂)와 기후요소를 MCA(multiple classification analysis)와 AID(auto interaction detector)의 통계처리방법으로 전산처리하여 오염도를 예측코저 한 바 있다.⁸⁾ 한편 이, 김 등은⁹⁾ 1979년에 울산지역의 SO₂ 오염도 예측에 TCM모델을 이용하여 예측한 바 있고 1982年, 1983년에 申 등^{10), 11)} 그리고 1985年 金 등¹²⁾ 이 대기오염확산모델에 관한 연구를 한 바 있다.

상술한 모델들은 대형 전산기를 이용한 연구였으나 근래 미국의 JAPCA¹³⁾와 일본 産業公害防止協會¹⁴⁾에서는 발달된 PC(personal computer)에 맞게 프로그램을 개발하여 실용화하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 CDM(climatological dispersion model)을 PC에 맞는 프로그램으로 연구개발(CDM·PC)하여 대형전산기로 처리된 TCM(texas climatologic-

al model)의 SO₂ 豫測結果와 實測值를 비교하여 그 결과를 얻었기에 보고한다.

2. 研究方法

2.1 對象地域

1985年 7월부터 1986年 3월까지 9개월간 京畿道 華城郡 東灘面 中里 일대를 대상으로 하였다. UTM(universal traverse mercator)좌표상 위치는 그림 1과 같이 TM-X 210.4, TM-Y 411.6을 중심기점으로 14.4 km(가로·세로 3.8 km)면적의 대기오염 분포를 예측하였다. 이 지역의 地形·地勢는 그림 2와 같다.

즉, 대상중심기점에서 北西方向(NW) 12.5 km 지점에 水原市, 正北方向(N) 2.5 km 지점에 器興邑, 東北東方向(ENE) 9.0 km 지점에 龍仁邑, 南南西方向(SSW) 7.3 km 지점에 烏山邑 등이 대상지역 주변에 분포되어 있어 거리상으로부터 대기오염의 影響이 미치지 않을 것으로 추측되어 대상지역으로 선정하였다.

2.2 調查方法

2.2.1 二酸化黃汚染度 豫測

대상지역의 SO₂ 汚染度를 예측키 위해 16方位別 風向·風速에 관한 資料, 雲量, 대상공장의 연료사용량, 연돌높이 등의 자료를 사용하여 TCM texas climatological model)을 대형 전자계산기인 VAX-11형으로 전산처리하였고 동시에 본 연구에서 개발된 CDM·PC(climatological dispersion model·personal computer)를 소형 퍼스날컴퓨터로 처리 SO₂ 豫測等 濃度曲線을 작성하였다.

2.2.2 二酸化黃測定

대상지역에서 설명한 바와 같이 이 지역은 北西風이 불 때 水原의 大氣汚染으로 인한 影響을 받고 있으므로 전산처리에서 얻어진 예측치를 檢定키 위한 實測은 北西風의 반대방향인 東風이 불 때를 測定日로 정했다. 따라서 그림 1과 같이 대상지역의 중심을 기점으로 반경 1 km인 円弧上에 ①, ②, ③ 측정지점을 선정했다. 한편 배경오염도를 측정키 위해 기점에서 동쪽의 円弧上에 ④ 측정지점을 선정하여 SO₂의 환경오염

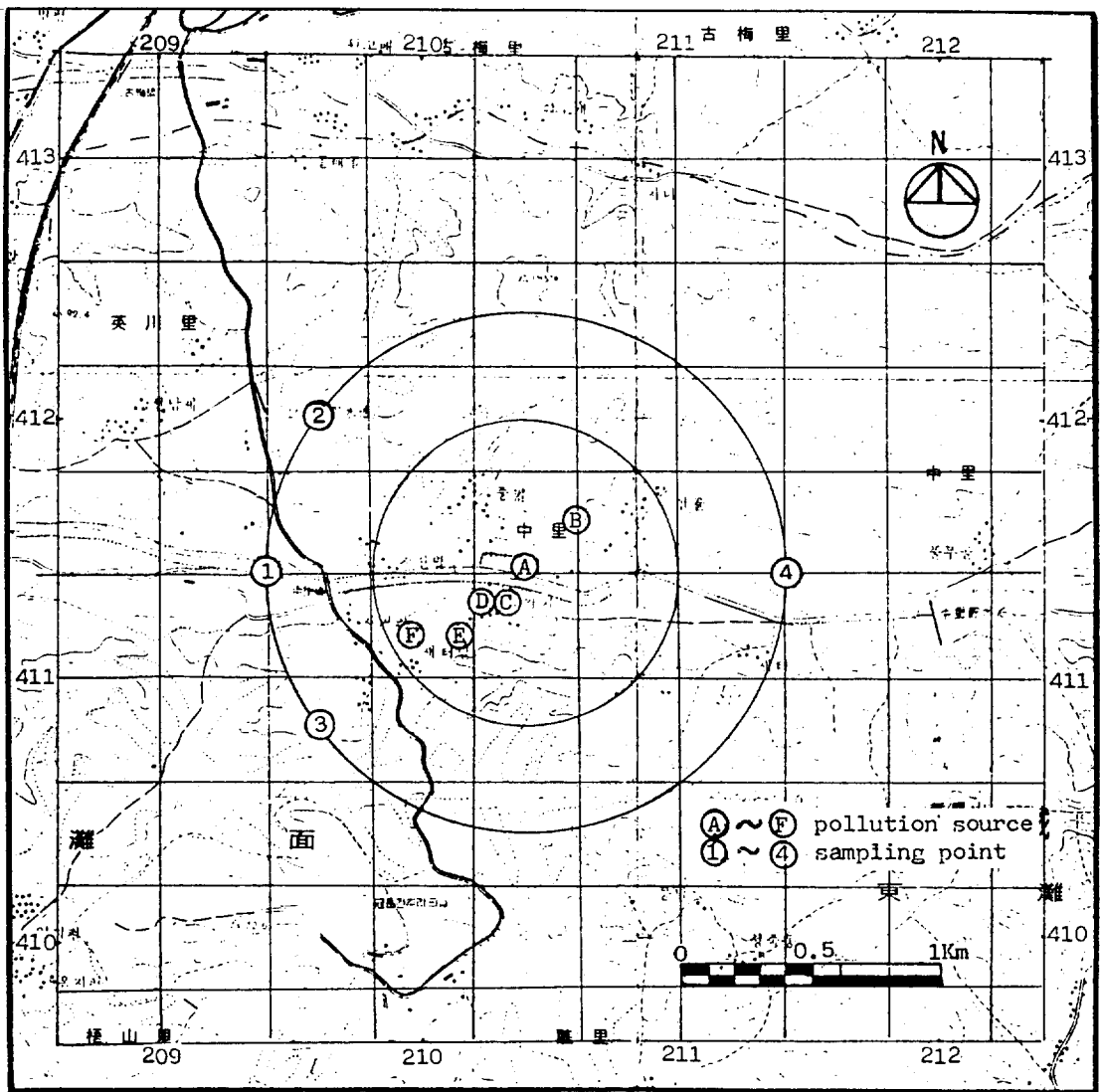


Fig.1 Study area and air pollution sources

도를 實測하여 예측치의 정확도를 알기 위해 통계 處理하였다.

그리고 SO₂ 분석은 pararosanine 法으로 分析하였다.

2.2.3 風向, 風速

대상지역의 SO₂ 豫測濃度を 실측치와 비교하기 위하여 風速과 風向은 Windcator 및 Wind Vane and Anemometer(Nippon Electric Instrument Inc. Tokyo, Japan)에 Linear-Log graphic recorder(Bechman Inst. Co, USA)를 연결하여 SO₂ 농도를 측정하는 동안 계속하여 計測 기록하였다. 本 調査時의 風向은

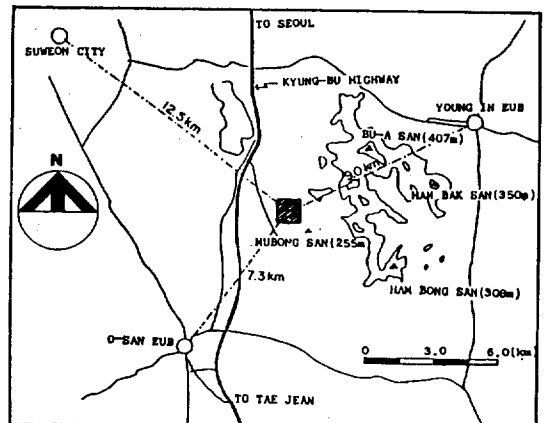


Fig.2 Geographical feature of the study area

東~南南東風이었음을 確認하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 入力資料

3.1.1 大氣汚染 排出源

大氣汚染 排出源에 관한 資料는 擴散式에 必要한 煙기 上昇式, 즉 유효굴뚝 높이(He)를 구하

기 위한 入力資料로서 必要로 한다. 따라서 本대상지역의 入力資料에 따른 調査結果는 표 1과 같다.

대상 6개 업체는 모두 저유황 방카C유(유황 함량 1.6%)를 使用하고 있으며 사용량은 시간당 平均 3,025 l, 연간 8,833kl를 사용하고 있으므로 환경보전법상 제 1종 업체에 해당하는 規模로 0.14 km(가로 0.7 km, 세로 0.2 km) 지

Table 1. Sulfur dioxide emission amount and stack status of each emission source

Code of manufacture	Type of production	Location of subject		Data of pollutant sources		Status of stack		
		TM-X (m)	TM-Y (m)	Usage of fuel (l/hr)	Emission Am't of SO ₂ (sm ³ /hr)	Height (m)	Emission velocity (m/sec)	Temp (°C)
A	Glass	210.4	411.6	1375.0	14.33	35	3.5	250
B	Cloth	210.6	411.5	562.5	5.86	30	3.0	120
C	Wearing apparels	210.1	411.2	375.0	3.91	10	1.0	110
D	Medicine supplies	210.2	411.3	50.0	0.52	10	1.0	60
E	Electricity	210.3	411.3	37.5	0.39	10	1.0	60
F	Glass	209.9	411.2	625.0	6.51	10	1.0	150

역에서 6개의 굴뚝을 통하여 배출하고 있는 결과가 된다.

대상공장의 시간당 총 연료사용량은 3,025 l이고 1.6% 유황함량 연료를 사용하고 있으므로 1시간 총 31.52 sm³의 SO₂를 배출하는 결과가 된다. 이 資料를 根據로 배출농도를 산출하면 848 ppm으로 추정된다.

굴뚝 높이는 표 1과 같이 제일 높은 것이 35 m이고 30 m 한개, 그리고 4개는 10 m였다. 排氣溫度는 공장에 따라 달라서 A업소가 250°C로서 가장 높았고 B, C, F업소는 100°C를 약간 상회하였고 D, E업소는 60°C였다.

3.1.2 氣象

대상지역의 기상현황을 전산처리에 入力키 위한 joint frequency function(JFF)⁶⁾으로 정리하면 표 2와 같다. 즉, 총 4,894 시간동안 관측된 기상자료중 무풍(0.3 m/sec이하) 狀態가

6.99%에 해당되는 342 시간이 출현하였고 나머지 시간은 바람이 불고 있는 狀態(0.4 m/sec 이상)였다. 안정도의 표기부호는 표 3과 같다. 따라서 대상지역의 Pasquill 大氣安定度 A등급의 연간 出現頻度는 1,087 시간, B등급이 2,034 시간, C등급이 985 시간, D등급이 282 시간, E등급이 255 시간, F등급이 251 시간이 출현하였다. 이 내용을 정리하면 대기의 불안정등급(A, B, C)이 연간 83.9%, 중립등급(D)은 5.8%, 안정등급(E, F)이 10.3%로서 大氣가 不安定하여 汚染物質이 수직방향으로 促進되는 氣象條件이 많았음을 알 수 있었다.

한편 대상지역의 風向現況을 보면 그림 3과 같이 20.2%가 西北西風(WNW)으로 가장 出現頻度가 높았다. 본 對象地域의 西北方向에 위치하고 있는 수원시에서의 北西風(NW)은 6.05%, 오산읍 방향인 남남서풍(SSW)은 4.82%, 용인읍 방향인 東北東風(ENE)은 3.21%였다.

Table 2. Climatological data by joint frequency function(JFF)

WV	Calm			0.4-2.0 (m/sec)			2.1-4.0 (m/sec)					4.1-6.0 (m/sec)			6.1- (m/sec)		Total		
	A A-B	B B-C	D	A A-B	B B-C	C	A A-B	B B-C	C	D	E	F	C	C-D	D	C	D	Time occu- red (hr)	Occur- ance rate (%)
Calm	25	310	7															342	6.99
N				16	32			13	11	1	11	11		2	1			98	2.00
NNE				9	17			3	4			1						34	0.69
NE				15	31	1	4	9	10	4	1	1		1	1			78	1.59
ENE				24	64	1	3	7	31		5	9	2	3	7		1	157	3.21
E				59	81	1	8	29	50		18	39		3	11			299	6.11
ESE				81	133	1	20	49	74	2	14	34	1	8	6	1	7	432	8.83
SE				76	72	1	13	29	29	1	3	10		1	3	2		240	4.90
SSE				130	110	3	24	44	29		5	10	2	2	3			362	7.40
S				100	65	1	33	35	18			9		3	2		3	269	5.50
SSW				68	61		11	21	43		7	17	1	1	3	3		236	4.82
SW				60	44		8	15	22		2	9	2	5	6	1	3	177	3.62
WSW				24	41		10	25	13		7	5	1		3			129	2.64
W				75	68	10	21	99	102	5	27	13	21	40	42	7	3	533	10.89
WNW				78	187	8	31	151	193	21	70	48	37	63	78	2	20	987	20.17
NW				31	65	2	6	49	53	11	43	8	7	10	7	1	3	296	6.05
NNW				20	51	2	4	24	37	13	42	27		3	2			225	4.60
Total	25	310	7	866	1122	31	196	602	719	58	255	251	75	145	175	15	42	4894	100.00

Table 3. Pasquill chart for determining atmospheric stability class

Surface wind speed (at 10m) m/s	Day			Night	
	Incoming solar radiation			Thinly overcast or 4/8 low cloud	3/8 cloud
	Strong	Moderate	Slight		
2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

따라서 이 지역의 風向과 風速으로 작성되는 바람장미도를 볼 때 北西와 西北西風이 년중 약 31%를 차지하며 동시에 4m/sec이상인 強風이 많이 불고 있음을 알 수 있다.

3.1.3 數式的 適用

大氣汚染 擴散모델은 대개가 Gaussian式에서 變形하여 여러 形態의 모델이 개발되었다. 따라서 연기 상승식과 확산속(σ_y, σ_z) 산정 방식에 따라 결과가 달라진다. 본 연구에서는 점오염원의 대기확산모델을 개발하는데 그 目的이 있으므로 適用數式이 결정되어야만 入力資料가 정해진다.

따라서 프로그램에 적용수식을 약술코져 한다. 연기상승식은 無風時와 有風時, 배출열량, 굴

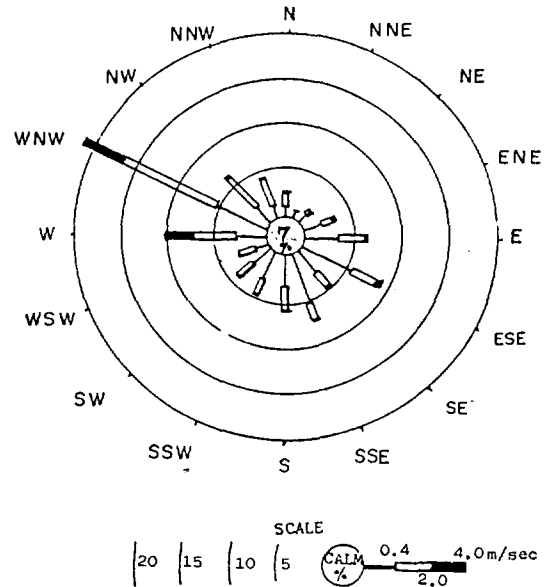


Fig.3 Wind speed(m/sec) and wind direction distribution of research area

뚝높이, 배출속도와 같은 獨立變數의 狀態와 條件에 따라 달라지지만 특히 배출열량으로 熱源規模가 결정되며 상승식이 달라진다는 것은 이미 밝혀졌다.

배출열량 7,000 Kcal/sec 이상인 大規模 연원의 상승식은 Lucas 등의 CERL 식¹⁵⁾, Carpenter의 TVA 식¹⁶⁾ 및 Okamoto·Okaniishi 식¹⁷⁾ 등이 있다. 또한 배출열량 2,000~7,000 Kcal/sec인 中規模에 대해서는 CONCAWE 식¹⁸⁾, Briggs 식¹⁹⁾ 등이 있고 2,000 Kcal/sec 이하인 小規模에는 Bosanquet 식을 根據로 도입된 식을 適用하고 있지만 Moses·Carson 식은²⁰⁾ 회귀분석을 기초로 대규모연원에 도 適用하고 있지만 30 Kcal/sec 정도의 소규모연원에도 많이 適用하고 있다.

따라서 본 연구에서는 2,000 Kcal/sec를 基準으로 大規模와 小規模로 區分하여 有風時 大規模인 경우는 CONCAWE 식을, 小規模인 경우는 Moses·Carson 식을 프로그램에 도입하였다.

○ CONCAWE 식

$$\Delta H = 0.175 Q_H^{1/2} \cdot U^{-3/4} \dots\dots\dots (1)$$

○ Moser·Carson 식

$$\Delta H = (C_1 \cdot Vg \cdot D + C_2 Q_H^{1/2}) / U \dots\dots\dots (2)$$

한편 無風時 Briggs 식을 使用하였다. 즉

$$\Delta H = 0.39 Q_H^{1/2} \left(\frac{g}{T} \cdot \frac{d\theta}{dz} \right)^{-3/8} \dots\dots\dots (3)$$

- $Q_H = \rho \cdot C_p \cdot q \cdot \Delta T$
- $\rho = 15^\circ\text{C}$ 일때의 배기밀도
 $(1.225 \times 10^3 \text{ g/m}^3)$
- $C_p =$ 정압비열 $(0.24 \text{ cal/K} \cdot \text{g})$
- $\Delta T =$ 배기 온도
- $q =$ 단위 시간당 배기량 (m^3/sec)
- $g =$ 중력가속도 (9.8 m/sec^2)
- $T =$ 대기 절대온도 $(273 + 15 = 288)$
- $d\theta/dz =$ 온도구배 $(^\circ\text{K/m})$

Gaussian 모델의 變形인 plume 식을 확산모델의 확산식으로 使用하였다. 이 모델은 固定點源으로 실용적인 정규분포형의 확산식으로 한정한다는 가정하에 使用되어야 한다. 또한 지상고도 10 m 높이의 風速에 따라 有風時 $(0.4 \text{ m/sec}$ 이상)와 無風時 $(0.4 \text{ m/sec}$ 미만)로 區分하여 適用공식이 달라진다.

有風時 점연원에 대한 plume 식을 使用하면 지표농도 C는 다음과 같다.

$$C(x, y) = \frac{q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots\dots\dots (4)$$

- $x =$ 風向에 따른 풍하거리 (m)
- $y =$ x 축에 직각인 수평거리 (m)
- $U =$ 風速 (m/sec)
- $q =$ 연원강도, 오염물질배출량 (mg/sec)
- $H_e =$ 유효굴뚝높이 (m)
- $\sigma_y =$ y 축방향 농도분포의 표준편차 (m)
- $\sigma_z =$ z 축방향 농도분포의 표준편차 (m)
- $C(x, y) =$ (x, y) 지점의 지표농도 (mg/m^3)

그러나 (4)식은 더 간단화할 수 있다. 즉, 風向은 16 방위로 분할하여 대표치로 使用하기 때문에 橫方向 擴散幅을 풍향분할각보다 적게 취하면 橫方向의 농도분포가 심한 차를 나타낼 수 있겠으나 장기평균치를 계산하는 경우 擴散幅을 風向角度頻도가 特定風向內에서 일정하다는 전제하에 크게 하는 方法을 취할 수 있다. 또한 1개 風向內에 대해서는 농도가 비슷하다고 가정하여 다음과 같이 간이식을 使用할 수 있다.²¹⁾

$$C(x) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} \frac{q}{U \cdot \frac{\pi}{8} \cdot x \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots\dots\dots (5)$$

無風時的 경우 Puff 식을 使用하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$C(x, y, T) = q \int_0^T G(x, y, t) dt \dots\dots\dots (6)$$

$$G(x, y, t) = \frac{2}{(2\pi)^{3/2}} \frac{1}{\sigma_y^2 \sigma_z} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots\dots\dots (7)$$

Puff 모델은 굴뚝에서 계속 배출된 배기를 짧은 시간으로 나누어 puff 로 취급한다. 개개 puff 는 獨立的으로 바람으로 운반하면서 확산되므로 plume 식의 σ_y, σ_z 는 x 의 관수인 것에 대해 여기서는 輸送時間 t 의 관수이다. 또한 風向의 풍상 및 풍하방향에도 puff 는 확대되므로 실제로는 x 方向의 濃度幅 σ_x 가 必要하지만 이에

대한 자료는 현시점에서는 거의 없으므로 $\sigma_x = \sigma_y$ 로 한다.

T (無風繼續時間) = 3 時間 정도까지 적산하면 시간무한대까지 계산한 농도분포와 거의 비슷하기 때문에 無風繼續時間은 1 시간, 2 시간, 3 시간이상으로 나누어 계산해도 충분하다. 또한 擴散幅 σ_y, σ_z 가 T와 비례한다면 계산식은 다음과 같이 더욱 간단해진다.²¹⁾

$$C(x, y, T) = \frac{2q}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \alpha^2 \beta} \cdot \frac{1}{\left(\frac{R^2}{\alpha^2} + \frac{H_e^2}{\beta^2}\right)} \exp\left\{-\frac{1}{2T^2} \left(\frac{R^2}{\alpha^2} + \frac{H_e^2}{\beta^2}\right)\right\} \dots\dots (8)$$

(8)식에서 $R^2 = x^2 + y^2$, $\alpha = \sigma_y/T$, $\beta = \sigma_z/T$ 이다. α, β 는 擴散幅 T의 비례정수이며 輸送時間에 따라 다르지만 α, β 는 T = 1 시간치를 사용한다. 無風時는 0.4 m/sec미만이므로 그 계속시간도 비교적 짧은 경우가 많다.

無風時에 (8)식을 適用하면 배출원 바로 밑이 최고치인 농도분포가 된다. 그러나 無風일지라도 연원 주변의 농도가 최대가 되지 않는다는 실측에도 있다. 이것은 첫째, 지상근처가 무풍일지라도 一般的으로 연원 고도에서 어느 정도 이상에서는 바람이 부는 경우가 많다는 점, 둘째, 1 時間 平均值에서는 무풍일지라도 순간치에서는 어느 정도이상의 바람이 분다는 점이 흔히 있을 수 있는 원인이 된다.

千秋²²⁾는 鹿島地區 및 橫須賀地區의 發電所内の SO₂ 측정치와 所外의 一般環境局의 측정치를 비교하여 風速이 下層에서는 약하지만 上層에서는 강할 때가 많다는 점과 發電所内の 측정치가 弱風時에도 주변에 비해 낮을 때도 있음을 지적한 바 있다. 이와 같이 無風時의 puff 式的 適用에 대해 아직 미해결의 문제가 있어서 적용풍속 범위를 0.4 m/sec미만으로 한정하고 있지만 장차 연구되어야 할 과제이다.

3.2 모델 개발

소규모 배출원에 의한 특정지역의 大氣汚染度를 豫測하기 위한 예측평가모델을 PC로 處理할 수 있는 프로그램을 開發하기 위해 CDM(clim-

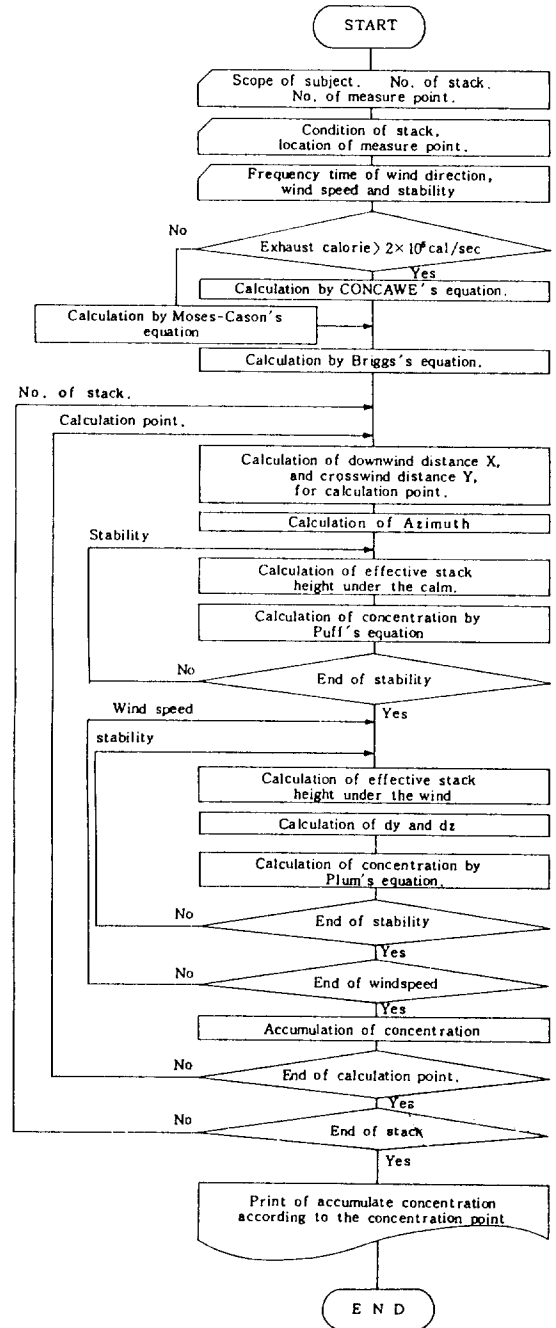


Fig.4 Air pollution simulation flow chart of CDM·PC

atological diffusion model)을 기초로 본 CDM·PC를 개발하였다.

擴散豫測評價모델의 계산프로그램은 그림 4와

같은 흐름도로 요약된다. 전산처리가 시작(start)되어 끝(end)날 때까지의 과정은 21 단계(21step)로 구분하였다. 1, 2, 3 단계(1, 2, 3 step)는 電算資料를 入力하는 단계로 1 단계는 前述한 對象地域의 範圍, 굴뚝의 수를, 2 단계는 굴뚝의 條件, 즉 굴뚝의 位置 굴뚝의 높이 및 직경, 배출가스량 및 배출온도와 배출오염물질량을 각각 入力한다. 3 단계에서는 風速을 有風時와 無風時로 區分하여 有風時 風速은 0.4 ~ 2.0, 2.1 ~ 4.0, 4.1 ~ 6.0, 6.0 m/sec 이상의 4 계급으로 區分하여 각 풍속단계별 8 개의 大氣安定度로 處理한다. 또한 무풍시는 대기안정도만을 구분하여 전산처리 入力資料로 使用한다. 이에 대한 資料는 표 3의 pasquill의 안정도계급에 對應한 出現頻度時間을 使用한다. 이때의 안정도는 일기상통계표의 風向·風速에 따른 일사량과 운량에 따라 일중 일사량이 있을 경우 일사량에 의해서, 일중 일사량이 없을 경우

雲量の 조건에 의해 風速別로 기간내에 出現한 時間을 氣象資料로 使用한다. 4 단계(step4)에서 배출열량 $2 \times 10^6 \text{ cal/sec}$ 이하인 경우 6 단계의 Moses-Carson식을, $2 \times 10^6 \text{ cal/sec}$ 이상인 경우 5 단계인 CONCAWE式을 使用하여 有風時 大氣安定度가 安定時, 不安定時, 中立時에 대한 有效연돌고의 계산을 먼저 함으로써 계산시간을 단축한다. 無風時는 7 단계(step7)에서 대기안정도가 안정시와 불안정시의 計算을 한다.

對象地域은 20 등분하여 441개(21 × 21)의 計算점을 設定하기 때문에 對象地域이 넓어질수록 각 計算점간의 거리도 넓어진다. 한 굴뚝에 대한 각 計算점의 濃度는 8 단계에서 20 단계까지 처리되어 計算된다. 8 단계에서 각 計算점과 굴뚝간의 풍하거리 x와 직교거리 y를 計算하여 計算점에 대한 方向을 결정(step 9)한다. 無風時 대기안정도등급별로 有效연돌고를 計算(step 10), 무풍시 농도계산식인 puff式(式 8)으로 計算(step 11)한다. 無風時 안정도 計算은 표 4의 Turner에 의한 간이 puff式을 使用하여 計算한다. 計算이 다 끝났을 경우(step12), 13 단계부터 17 단계까지 유풍시 농도계산을 한다. 有風時는 4 단계의 風速과 대기안정도별로 표 4의 Pasquill-Gifford의 확산곡의 근사식에 의거 풍하거리에 따른 σ_z, σ_y (step 13, 14)를 구하여 15 단계에서 농도를(式 5)에 의해 計算하여 농도를 적산한다. 16, 17 단계에서 대기안정도별, 풍속별 計算이 끝나면 다음 計算점을 計算하기 위해 8 단계로 되돌아 간다. 이와 같이 모든 計算점의 농도계산이 끝났을 경우(step19) 1개의 굴뚝에 대한 計算점의 농도는 모두 끝나고 다음 굴뚝에 대한 計算을 시작한다. 이때 다음 굴뚝의 농도는 18 단계에서 각 計算점의 농도가 끝날 때마다 그 計算점의 농도가 적산된다. 이러한 計算이 反復되어 20 단계에서는 모두 굴뚝의 計算이 끝났을 경우 21 단계에서 計算점별로 對象地域 예측농도의 등농도곡선도(그림 5)가 프린트로 출력되어 擴散豫測評價모델은 끝을 맺게 된다.

Table 4. The stability coefficient used for air pollution dispersion model

σ_z	stability	(a) in a windy state			(b) in a windless state	
		α	β	downwind distance x	α	β
A		1.121	0.079	0- 300	0.74	1.54
		1.513	0.008	300- 500		
		2.108	0.000	500- ∞		
B		0.964	0.127	0- 500	0.58	0.47
		1.093	0.057	500- ∞		
C		0.917	0.106	0- ∞	0.43	0.21
C-D		0.838	0.126	0- 2000	0.27	0.11
		0.756	0.235	2000-10000		
D		0.815	0.136	10000- ∞	0.24	0.069
		0.826	0.104	0- 1000		
		0.632	0.400	1000-10000		
		0.555	0.810	10000- ∞		
D-E		0.776	0.111	0- 2000	0.24	0.048
		0.572	0.528	2000-10000		
		0.499	1.038	10000- ∞		
E		0.788	0.092	0- 1000	0.24	0.029
		0.565	0.433	1000-10000		
		0.414	1.732	10000- ∞		
F		0.784	0.062	0- 1000	-	-
		0.525	0.370	1000-10000		
		0.322	2.406	10000- ∞		

(a) Pasquill-Gifford's dispersion coefficient

$$\sigma_z = \beta \cdot x^2$$

(b) Turner's dispersion coefficient

$$\sigma_z = \beta t$$

$$\sigma_y = \alpha t$$

3.3 等濃度曲線

本 研究에서 開發한 CDM·PC와 TCM으로

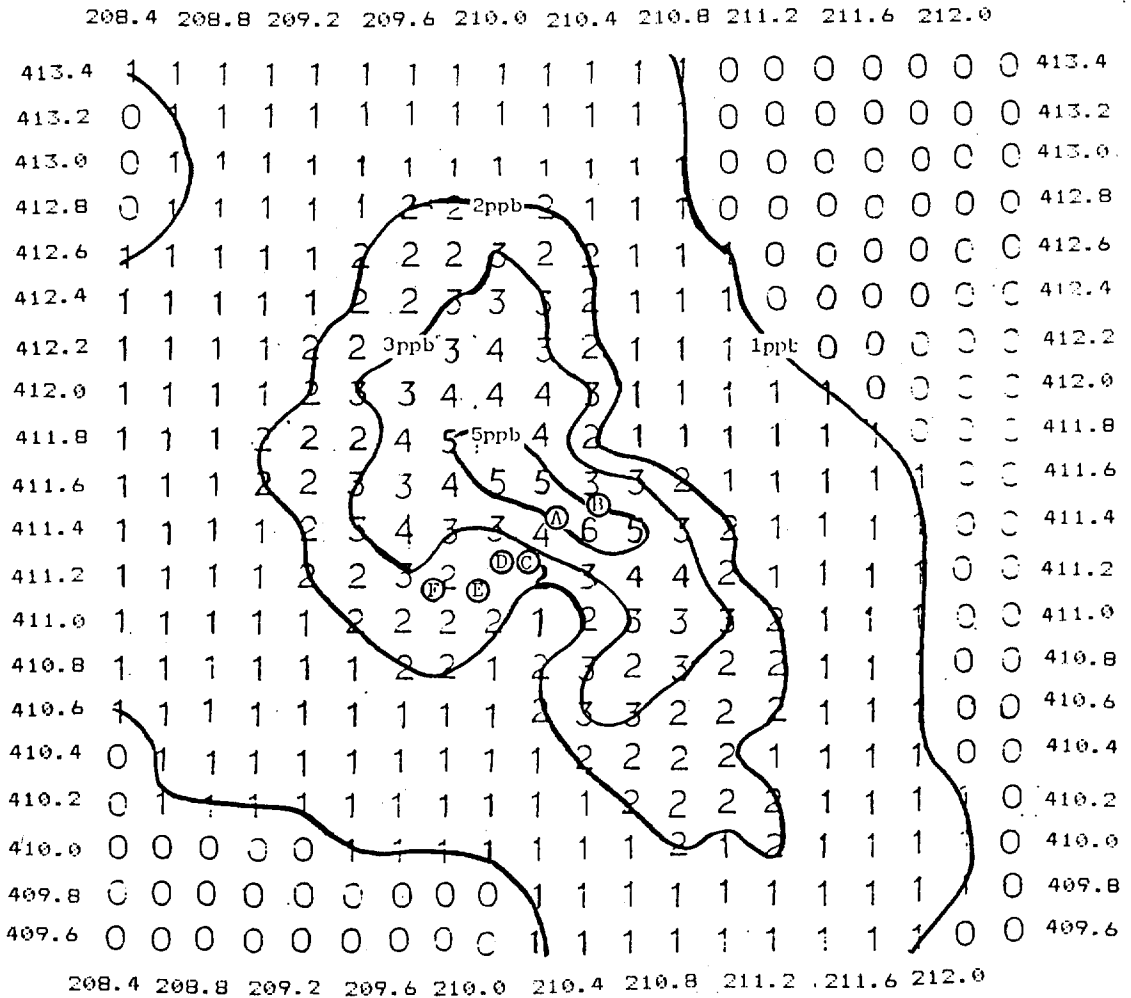


Fig.5 SO₂ pollution contour due to CDM, PC

對象地域의 同一한 入力資料를 이용하여 電算處理하여 그림 5 및 그림 6 과 같은 SO₂ 等濃度曲線을 얻었다. 이 그림을 비교하면 各濃度別 等濃度曲線의 모양은 거의 비슷한 모양을 하고 있음을 알 수 있다. 그러나 5ppb 이상의 等濃度曲線 모양은 두 그림에서 비슷한 모양을 하고 있지만 1ppb, 2ppb 및 3ppb 等濃度曲線의 방위별 거리는 중심기준점 (A 공장)을 기준으로 볼 때 CDM·PC의 그림모양은 TCM을 擴大한 모습으로 나타내고 있다. 그러나 우하방의 1ppb 等濃度曲線의 모양은 TCM의 경우 동쪽에서 남쪽을 거쳐 모든 地域이 1ppb 임에도 불구하고 CDM·

PC는 기준점에서 멀어짐에 따라 오무러지는 경향을 볼 수 있다.

따라서 표 5에 各汚染度에 따르는 地域面積을 CDM·PC와 TCM과를 비교 제시하였다. 즉, 대상지역 14.4 km² 면적에 대하여 연간 SO₂ 배출원의 영향을 받지 않는 면적 (0ppb)은 TCM이 55.3%인데 비해 CDM·PC는 26.8%로서 약 2배의 지역이 오염의 영향을 받고 있다는 결론이 된다. 동일한 入力資料로서 電算處理 하였음에도 불구하고 이와 같은 차이가 생긴 원인은 CDM·PC와 TCM의 大氣汚染擴散모델들은 기상 자료의 處理方法中 風速階層 區分의 差, 擴散式

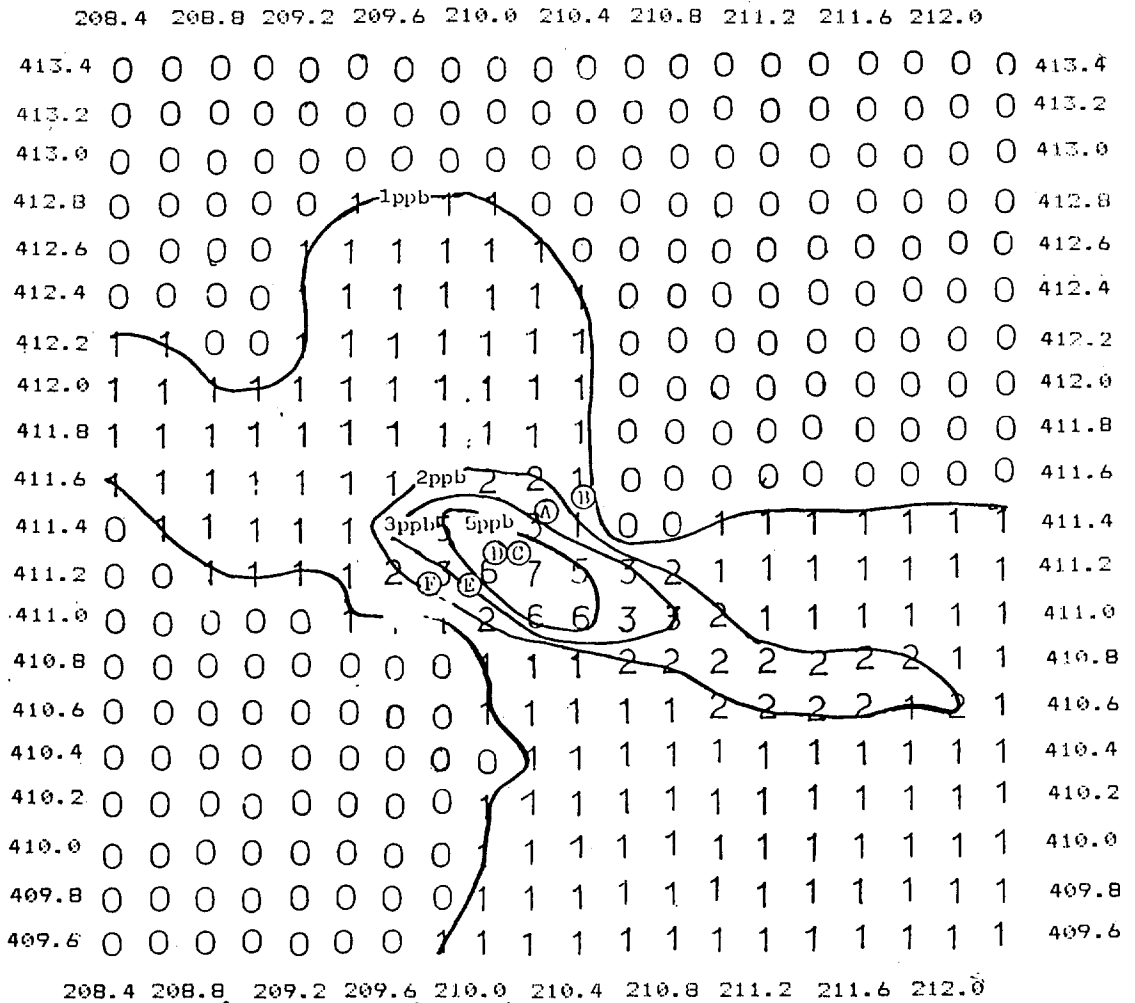


Fig.6 SO₂ pollution contour due to TCM.

Table 5. Area distribution between SO₂ pollution contour by CDM·PC and TCM in each 1 concentration level

SO ₂ (ppb)	CDM·PC		TCM		TCM/ CDM·PC
	Km ²	%	Km ²	%	
0	3.86	26.8	7.97	55.3	2.07
1	7.26	50.4	5.47	38.0	0.75
2	1.96	13.6	0.55	3.8	0.28
3	1.17	8.1	0.24	1.7	0.21
5 above	0.15	1.1	0.17	1.2	1.13
Total	14.40	100.0	14.40	100.0	-

의 相異, 그리고 풍하거리에 따른 α, β 상수의 차에서 초래된 결과로 보아 앞으로 연구되어야 할 과제라고 생각된다.

아뭏든 대형 컴퓨터로 處理된 CDM이나 CDM·PC는 同一한 연기상승식, 확산식, 풍하거리에 따른 상수, 기상자료처리방법이라면 결과는 그림 5와 동일할 것이라 함은 쉽게 알 수 있다. 다만 CDM·PC인 경우 處理時間은 10개 연원처리에 3시간 20분 소요되지만 우리주변에서 쉽게 이용할 수 있다는 장점이 있다. 단점으로는 電算處理時間이 길다는 점 그리고 記憶容量 64 KB인 電算機로는 大氣汚染排出源 수가 10개

이상일 때 주변기기를 부착하더라도 컴퓨터 오차가 발생할 가능성이 커짐으로 많은 연원, 즉 대규모 배출원 예컨대 대단위 공단의 대기오염확산추정에는 불가능하다는 점을 들 수 있다. 그러나 IMB의記憶容量을 지닌 PC의 경우는 대형 컴퓨터가 처리할 수 있는 범위의 용량을處理할 수 있을 것으로 思料된다.

3.4 實測値와 豫測値의 比較

勞象地域의 實測 SO₂ 濃도와 CDM·PC, TCM의 예측농도를 比較한 결과는 표6과 같다.

Table 6. Relationship between estimated SO₂ concentration (Cest) and observed concentration (Cob)

Sampling point	co-ordinate		Cob (ppb)	Cest		Cest/cob ratio	
	X	Y		CDM·PC	TCM	CDM·PC	TCM
1	209.4	411.5	2.69	1.98	3.56	0.73	1.32
2	209.6	412.0	2.40	2.69	3.04	1.12	1.27
3	209.6	410.8	1.14	1.41	0.87	1.23	0.76
4	211.4	411.4	1.14	1.12	1.39	0.77	0.96
average	-	-	1.92	1.80	2.21	0.96	1.08
S.D	-	-	±0.74	±0.69	±1.29	±0.25	±0.26

實測濃度 (Cob)의 各 測定地點 平均濃도는 1.92 ± 0.74 ppb였고 TCM에 의한 豫測濃度 (Cest)의 平均値는 2.21 ± 1.29 ppb, CDM·PC는 1.80 ± 0.69 ppb였다.

실측농도에 대한 예측농도의 관계를 比較檢討하기 위하여 Cest/Cob 비를 보면 CDM·PC에 대한 Cest/Cob 비의 平均値는 0.96 ± 0.25였고 TCM은 1.08이었다. 1985년 김 등¹²⁾이 서울시의 자동측정망에서 實測한 SO₂ 농도와 TCM-2로 예측한 Cest/Cob 비의 平均値는 2.12로서 本 研究結果值 1.08의 약 2배였다. 그러나 1984년 온산지역에서 김 등²³⁾이 조사한 TCM의 Cest/Cob 비는 大氣汚染 自動測定網의 測定値의 경우는 1.05였고 현장에서 실측된 경우는 1.08로서 본 조사결과와 동일하게 나타났다. 한편 CDM·PC의 Cest/Cob 비는 0.96으로 실측치와 예측치가 거의 비슷하였다.

4. 結 論

1985년 7월에서 1986년 3월까지 9개월에 걸쳐 경기도 화성군 동탄면 중리 내상기점(TM-

X 210.4, TM-Y 411.6)을 중심으로 14.4 km² (가로·세로 3.8 km)面積을 對象으로 開發된 CDM·PC와 TCM을 適用하여 SO₂ 等濃度 曲線을 作成한 후 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 有風時 점오염원의 Plum式을 式(5)와 같이 하여 電算處理時間을 단축하였으며

(2) 無風時 점오염원의 Puff式을 式(8)과 같이 간소화하여 利用하였다.

(3) 大氣擴散모델 계산에 必要한 안정도는 8등급, 16방위로 區分된 風向 그리고 4등급의 風速으로 區分하여 入力 氣象資料로 活用했다.

(4) 연기상승속은 有風時 배출열량 2,000 Kcal/sec 이상일 때 CONCAWE식, 그 이하일때 Moses·Carson식 그리고 無風時 Briggs식을 適用했다.

(5) 위와 같이 제시된 條件下에 10개 연원을 處理하여 等濃度 曲線을 作成하기 위해 200분이 소요된다.

(6) 대형 컴퓨터에 비해 소요시간이 긴 것이 단점이지만 널리 보급된 PC로 活用度가 높다는 것이 장점이 된다.

(7) 開發된 CDM·PC와 TCM에 동일한 入力 資料로 處理된 結果를 볼 때 그 모양은 비슷하였으나 농도분포에서는 각 모델의 특성으로 차이가 있음을 確認하였다.

(8) 실측 SO₂ 농도와 豫測値는 비슷하였다. 즉, Cest/Cob 비는 CDM·PC의 경우 0.96 ± 0.25 (S.D.)였고 TDM은 1.08 ± 0.26 (S.D.)이었다. (原稿接受 '86.5.6)

謝 辭

本 研究는 財團法人 녹십자研究所 支援 研究費로 遂行되었으며 支援하여 주심에 심심한 謝意를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Arthur C. Stern, (1968), Air Pollution, 2nd ed, Vol. 1, 187, Academic Press, U.S.A.
2. H. Moses, (1969), Mathematical Urban Air Pollution Models, ANL/ES-RPY-001. Argonne Nat. Lab., U.S.A.

3. Slade, D.H. (ed.), (1968), Meteorology and Atomic Energy, Atomic Energy Commission, U.S.A.
4. Clean Air Amendments of 1970, 42 USC 1857 et. seq. as amended by the Clean Air Amendments of 1970, PL 91-604.
5. National Environmental Pollution Act, (1969), 42 USC 4321 et. seq., PL 91-190.
6. Turner, D. B., (1970), Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, Public Health Service, U.S. Department of Health, Education and Welfare, AP-26.
7. Turner, D.B. and A.D. Busse, User's Guidline to the Interactive Versions of Three Point Source Dispersion Programs, PTMAX, PTDIS, and PTMTP, EPA.
8. 윤명조 등, (1972), 서울시의 기후요소가 대기오염에 미치는 영향, 보건사회부 연구보고서, 133-191.
9. 이은호, 산응배 등, (1979), 울산석유화학단지 환경관리체제의 운영효율화 연구, 울산석유화학단지 관리운영협의회 보고서.
10. 산응배의 8인, (1982), 대기·수질환경관리전산모델연구(제 1 차), 한국과학기술원 연구보고서.
11. 산응배의 9인, (1984), 대기·수질환경관리전산모델연구(제 2 차), 한국과학기술원 연구보고서.
12. 김양균의 5인, (1985), 대기오염확산모델 개발에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 제 1권, 1, 53-70.
13. H. Cota, M. Melia, M. Ruby, (1985), Micro-computer Software Reviews, JAPCA, 35, 1, 69.
14. 마이콘용煙突排가스擴散長期平均溫度計算(CDM) 프로그램, (1983), (株)産業公害防止協會, 日本.
15. Lucas, D. H., (1967), Application and Evaluation of the Tilbury Plume Rise and Dispersion Experiment, Atmos. Environ., 1, 421-424.
16. Carpenter, S.B., J.A. Frizzola, et al., (1968), Report of Full - scale Study of Plume Rise at Large Electric Generating Stations, J. Air Poll. Control Ass., 18, 458.
17. 岡本眞一, 岡西祥太郎, 鹽澤清茂, (1979), 排煙上昇高度計算式に關する研究, 大氣汚染學會誌, 14, 11.
18. Concawe, (1966), The Calculation of Dispersion from a Stack, Conservation of Clean Air and Water, Western Europe.
19. Briggs, G. A., (1969), Plume Rise, U.S. Atomic Energy Commission Div. Tech. Inf.
20. Moses, H., J.E. Carson, (1967), Stack Design Parameters Influencing Plume Rise, 56th Annual Meeting Air Pollution Control Assoc., 67-84, U.S.A.
21. 通商産業省 立地公害局, (1985), 産業公害總合事前調査における大氣に係る 環境濃度豫測手法マニュアル, 社團法人 産業公害防止協會, 日本.
22. 千秋銳夫, (1979), 電力中央研究所報告.
23. 김정옥, 권태준 외, (1984), 울산온산공단 공해피해주민 이주대책을 위한 조사연구, 서울대 환경계획연구소, 환경청.